



# **Edellytykset pienreaktorien turvalliselle käytölle**

— lupajärjestelmän ja valvonnan kehitysnäkymiä

## KIRJOITTAJAT

Tämä julkaisu on syntynyt yhteiskirjoittamisen tuloksena syksyn 2019 aikana. Kirjoittajien vastuualueet kertovat siitä osaamisesta, jolla he ovat raportin kirjoittamiseen osallistuneet.

**EETU AHONEN** on Säteilyturvakeskuksen projekti-insinööri, joka on erikoistunut ydinvoimalaitosten valvonnan projekteihin ja datan hyödyntämiseen riskitietoisien valvonnan osana.

**JUSSI HEINONEN** on Säteilyturvakeskuksen johtaja, jonka osaston vastuulla on ydinjätteiden ja ydinmateriaalien valvonta Suomessa, mukaan lukien loppusijoitus.

**NINA LAHTINEN** on toimistopäällikkö Säteilyturvakeskuksessa, vastuualueenaan reaktori- ja turvallisuusjärjestelmät sekä turvallisuusanalyysit.

**MINNA TUOMAINEN** on Säteilyturvakeskuksen johtava asiantuntija, jonka vastuualueena on uusien laitosten luvitus ja säännöstön kehittäminen.

Toimittanut **OSSI LÅNG**, viestinnän asiantuntija, Säteilyturvakeskus.

Kannen kuva: VTT. FiR 1 -tutkimusreaktorin sydän.



# **Edellytykset pienreaktorien turvalliselle käytölle**

— lupajärjestelmän ja valvonnan kehitysnäkymiä





# Sisällysluettelo

|   |    |
|---|----|
| 1. SUOMALAISTEN SÄTEILYTURVALLISUUDESTA ON HUOLEHDITTAVA  | 6  |
| 2. SUOMESSA YDINENERGIAN KÄYTTÖÖN TARVITAAN LUPA – KOSKEE MYÖS PIENREAKTOREITA                            | 8  |
| RATKAISUJA KANSAINVÄLISESTÄ YHTEISTYÖSTÄ  | 11 |
| TURVALLISUUSVAATIMUKSET   | 12 |
| 3. PIENREAKTORITEKNOLOGIAT  | 13 |
| PIENREAKTORITYYPIT  | 14 |
| UUSIEN REAKTORITYYPPIEN TURVALLISUUS ON OSOITETTAVA LUOTETTAVASTI   | 18 |
| SUOJAVYÖHYKKEELLÄ JA VARAUTUMISALUEELLA SUOJELLAAN IHMISIÄ:<br>ALUEIDEN KOKO ON HARKITTAVA TARPEEN MUKAAN | 19 |
| 4. ERITYISKYSYMYKSET  | 20 |
| YDINJÄTEHUOLTO  | 20 |
| YDINMATERIAALIVALVONTA JA TURVAJÄRJESTELYT  | 21 |
| YDINVASTUU  | 22 |
| 5. KUKA VOI KÄYTTÄÄ YDINENERGIAA?   | 23 |
| 6. JOHTOPÄÄTÖKSET   | 24 |

# I. Suomalaisten säteilyturvallisuudesta on huolehdittava

*Pienreaktori on ydinvoimalaitos ja sen on oltava turvallinen.*

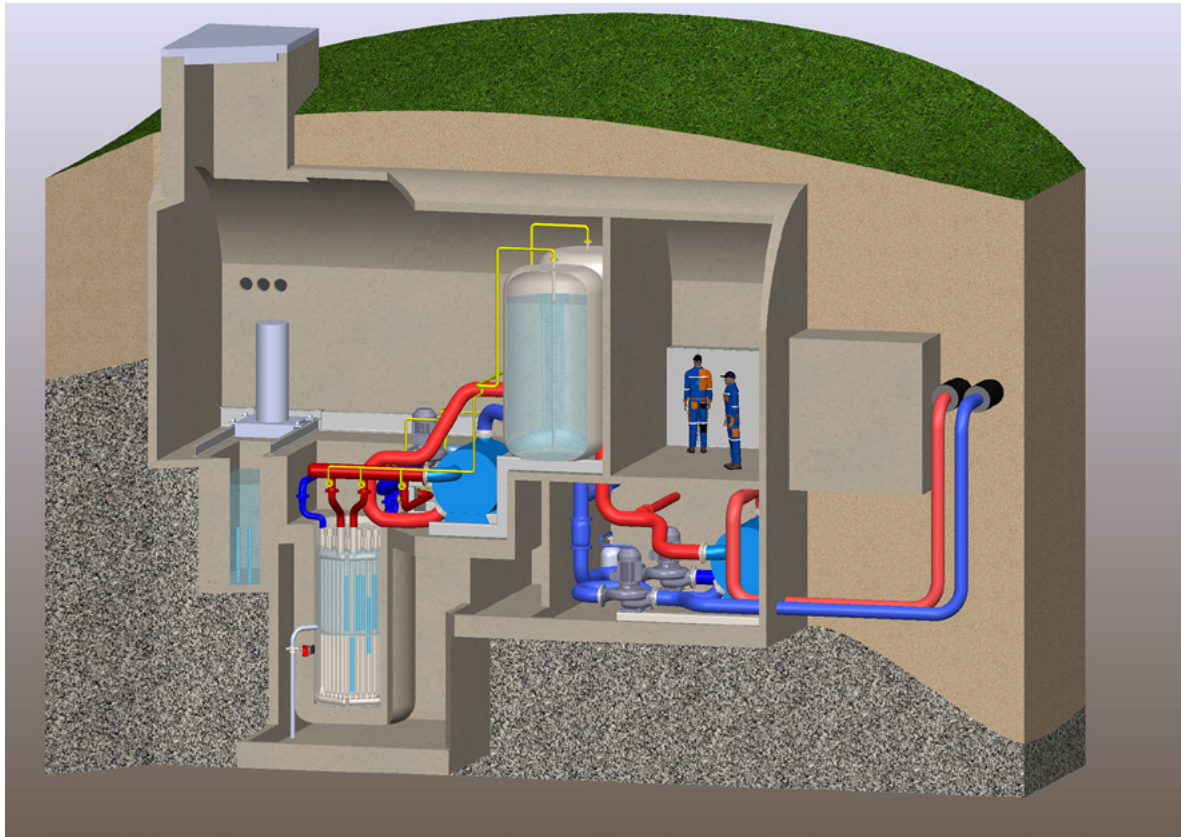
Keskustelussa tulevaisuuden energiapaletista on yhdeksi vaihtoehdoksi esitetty pienten ja keskisuurten modulaaristen ydinreaktoreiden (Small Modular Reactor, SMR) hyödyntämistä sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. Yleensä pienreaktoreilla tarkoitetaan ydinvoimalaitoksia, jotka ovat sähköteholtaan alle 300 MW<sup>1</sup> (megawattia)<sup>2</sup>. Modulaarisuudelle ei ole vakiintunutta määritelmää, mutta yleensä sillä tarkoitetaan, että reaktori osineen on sarjatuotettavissa tehtaassa, kuljetettavissa paikalle isoissa osissa (moduuleissa) tai että reaktoreita voidaan sijoittaa useampi vierekkäin. Tässä raportissa termillä reaktori viitataan joko reaktoriin itseensä tai reaktorin sisältävään ydinvoimalaitokseen kokonaisuudessaan.

Maailmalla pienreaktoreiden kehittämiseen investoidaan merkittävästi ja ensimmäisten pilottilaitosten odotetaan olevan toiminnassa jo 2020-luvun alkupuolella<sup>3</sup>. Tässä raportissa ei arvioida energiajärjestelmän tai pienreaktoriteknologioiden tulevaisuutta. Aiheen saama suuri huomio on kuitenkin herättänyt viranomaiset pohtimaan valmiuttaan pienreaktoreiden luvittamiseen, turvallisuuden arviointiin ja valvontaan. Keskustelu ja pohdinta kansallisesti ja kansainvälisesti ovat paikallaan, sillä teknologia ja odotukset kehittyvät tällä hetkellä sääntelyä nopeammin. Myös Säteilyturvakeskuksen (STUK) on varauduttava mahdollisiin tuleviin hakemuksiin, sillä viranomaisella on oltava valmius arvioida myös uusien laitostyyppien turvallisuutta. Säännösten ja valvonnan kehittäminen sekä turvallisuusosaamisen kasvattaminen vaativat kuitenkin aikaa. Tärkeä osa varautumisesta on osallistuminen kansainväliseen keskusteluun pienreaktoreiden turvallisuudesta ja lupakäytännöistä.

1 Vertailun vuoksi, nykyisten suomalaisten laitosten sähköteho on 500-1600 MW.

2 IAEA Advances in Small Modular Reactor Technology Developments (2018) ja OECD NEA Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment (2016).

3 Lähimpänä käyttöönottoa ovat kiinalainen HTR-PM, venäläinen KLT-40S ja argentiinalainen CAREM. Kehitystyötä tehdään myös esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Pieniä reaktoreita on jo laajasti käytössä esimerkiksi sotalaivoissa ja sukellusveneissä. Lisäksi Venäjällä on kelluva ydinvoimalaitos Akademik Lomonosov.



**KUVA 1:** Lappeenrannan teknillisen yliopiston visio maan alle sijoitettavasta pienreaktorista kaukolämmön tuotantoon.  
Kuva: LUT Ydintekniikka.

Ydinenergian käytön perusedellytys on jatkossakin turvallisuus, josta vastaa ydinlaitoksen luvanhaltija. Laitosteknologiasta riippumatta ihmisten ja ympäristön turvallisuus on varmistettava ja turvallisuuden on osoitettava olevan vähintään samalla tasolla kuin nyt käytössä olevissa ydinvoimalaitoksissa. Teknisten vaatimusten soveltuvuudessa ja soveltamisessa voi kuitenkin olla eroja pienreaktorien ja nykyisten suurten ydinvoimalaitosten välillä.

Tässä raportissa luodaan katsaus pienreaktoritekologioihin ja eräisiin niihin liittyviin turvallisuuskysymyksiin. On huomattava, että tämä raportti käsittelee asiaa yleisellä tasolla, sillä tietoa ja kokemuksia on rajallisesti. Toisaalta raportti on pyritty kirjoittamaan siten, että se tarjoaa hyödyllistä tietoa erityisesti niille päättäjille, toimittajille ja kansalaisille, jotka haluavat ymmärtää millaisia kysymyksiä ydinturvallisuuden kehittämiseen liittyy erityisesti pienreaktoreiden näkökulmasta.

Raportin ensimmäinen luku on johdantoluku. Toisessa luvussa käsitellään ydinvoimalaitosten luvitusta. Kolmannessa luvussa kerrotaan pienreaktoritekologioista ja pohditaan niiden sijoittamista laitospaikoille. Neljännessä luvussa käydään läpi pienreaktoreiden turvallisuuden eräitä erityiskysymyksiä. Viides luku käsittelee pienreaktorin luvanhaltijan vastuuta. Viimeisessä kuudennessa luvussa esitetään johtopäätökset.



## 2. Suomessa ydinenergian käyttöön tarvitaan lupa – koskee myös pienreaktoreita

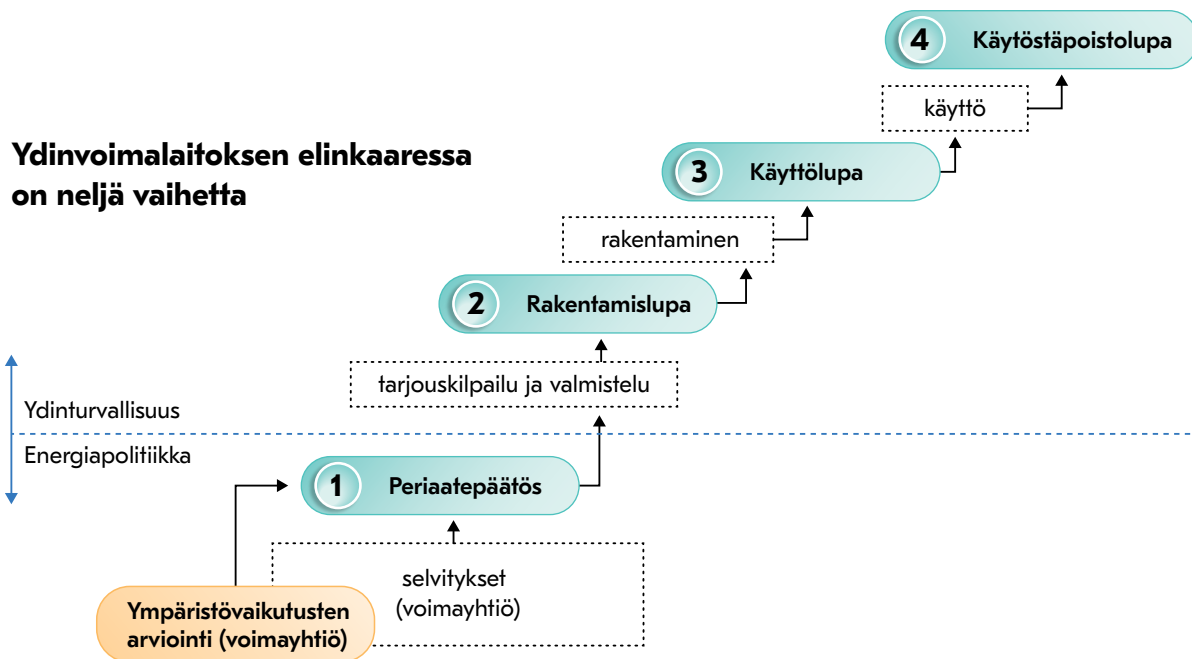
*Nykyinen lupamenettely ei välttämättä sovi pienreaktoreille. Lupamenettelyn kehittämisestä vastaa työ- ja elinkeinoministeriö. Ministeriö on aloittanut ydinenergiain kehityshankkeen syksyllä 2019<sup>4</sup>. Pienreaktoreiden lupamenettelyjä ja turvallisuusvaatimuksia pohditaan myös kansainvälisessä yhteistyössä, jossa STUK on mukana.*

Ydinreaktori, myös pienreaktori, sisältää radioaktiivisia aineita, jotka harvinaisissa vakavissa onnettomuustilanteissa voisivat ympäristöön vapautuessaan aiheuttaa merkittävää haittaa ihmisille ja ympäristölle sekä omaisuudelle. Ydinreaktorin rakentamiselle, käyttämiselle ja käytöstä poistamiselle tarvitaan Suomessa lupa valtioneuvostolta. Tämä lupamenettely on määritelty ydinenergiailaissa, jonka kehittämisestä vastaa työ- ja elinkeinoministeriö. Vaadittavien lupien perimmäinen tarkoitus on suojella ihmisiä, ympäristöä ja tulevia sukupolvia säteilyn haitallisilta vaikutuksilta sekä arvioida kokonaisvaltaisesti esitetyn ydinvoimalaitoshankkeen hyötyjä ja haittoja yhteiskunnan kokonaisedun näkökulmasta.

Ensimmäinen lupavaihe on periaatepäätös siitä, onko ydinvoimalaitoksen rakentaminen ja käyttäminen yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Periaatepäätöksen jälkeen seuraava lupavaihe on rakentamislupa, joka tarvitaan ennen rakentamisen aloittamista. Rakentamisen jälkeen käytön aloittamiseen vaaditaan käyttö lupa ja aikanaan, laitoksen käytön päätyttyä, laitoksen purkamiseen tarvitaan käytöstäpoistolupa. Luvat myöntää valtioneuvosto ja periaatepäätöksen hyväksyy tai hylkää eduskunta. STUK arvioi jokaisessa lupavaiheessa turvallisuutta, eli täyttääkö ehdotettu ydinvoimalaitos ydinenergian käytön turvallisuudelle asetetut vaatimukset. Valtioneuvoston on puolestaan otettava STUKin turvallisuutta koskevat ehdotukset huomioon kaikissa lupavaiheissa. Lisäksi on huomattava, että laitoksen käyttöönoton, ja aikanaan myös käytöstäpoiston, edellytyksenä on STUKin hyväksyntä.

4 Ydinenergiainsäädännön kehittämistarpeita selvitetään työ- ja elinkeinoministeriön säädösvalmisteluhankkeessa TEM080:00/2019.





**KUVA 2:** Ydinvoimalaitoksen luvituksen vaiheet. STUK arvioi turvallisuutta jokaisessa lupavaiheessa.

Lainsäädännössä ei erotella erikokoisia reaktoreita, vaan sama lupamenettely pätee kaikille reaktoreille<sup>5</sup>. Lupamenettely on kuitenkin laadittu aikoinaan isoille reaktoreille, eikä se välttämättä ole tarkoituksenmukainen pienreaktoreiden luvitukseen, sillä pienreaktorihanke voi poiketa perinteisestä ydinvoiman rakennushankkeesta monin tavoin:

- Laitos saattaa koostua useasta reaktorista, joita rakennetaan eri aikaan. Samanlaisia laitoksia saatetaan rakentaa useaan eri paikkaan.
- Rakentaminen saattaa olla porrastettu siten, että ensimmäiset reaktorit ovat jo käytössä, kun seuraavia vielä rakennetaan.
- Hankkeen taustalla ei välttämättä ole perinteinen sähkön tuotantoon keskittyvä ydinvoimayhtiö, vaan alalle voi tulla uusia toimintamalleja ja käyttökohteita.
- Pienreaktorin rakentamiseen kuluva ajan on oltava huomattavasti lyhyempi kuin mihin on totuttu isoissa ydinvoimalaitoshankkeissa. Pienreaktoriprojektissa lupavaiheiden osuus koko rakentamisprojektin kestosta voi olla huomattava.

<sup>5</sup> Lämpöteholtaan hyvin pienet alle 50 MW reaktorit eivät ydinennergialain (990/1987) 11 §:n mukaisesti kuitenkaan tarvitse periaatepäätöstä.

Nykyinen lainsäädäntö ei estä hakemasta periaatepäätöstä useammalle reaktorille tai laitospaikalle, mutta vakiintunut käytäntö on antaa lupa yhdelle reaktorille kerrallaan. Lisäksi periaatepäätöksen ehtona saattaa olla, että rakentamislupahakemus on jätettävä tietyn ajan kuluessa ja rakentamisluvassa saatetaan edellyttää rakentamisen aloittamista tietyssä ajassa. Suomessa ei ole muissa maissa yleistä omaa lupavaihetta laitospaikan hyväksynnälle. Nykykäytännössä laitospaikka luvitetaan rakentamisluvan yhteydessä.

Pienreaktoreiden luvittaminen nykyisen lainsäädännön mukaan on siis mahdollista, mutta se edellyttää vakiintuneiden käytäntöjen ja ajattelutavan muuttamista. Olisi hyvä myös pohtia lupamenettelyn soveltuvuutta erilaisiin tilanteisiin pienreaktoreiden rakentamisessa ja käytössä, sillä esimerkiksi seuraavanlaiset tilanteet poikkeaisivat isojen reaktoreiden rakentamisesta:

- Energiayhtiö haluaisi lisätä yhden reaktorin jo olemassa olevaan voimalaitoskokonaisuuteen. Uusi reaktori tulisi samalle laitospaikalle jo olemassa olevien yksiköiden kanssa, ja käyttäisi samaa infrastruktuuria. Voimalaitoksen sähkötehon lisäys olisi noin 10 prosenttia. Tarvitaanko lisäykselle periaatepäätös? Loviisan ja Olkiluodon laitosten tehoja on korotettu alkuperäisestä enemmän kuin 10 %, mutta koska korotukset on tehty modernisoimalla olemassa olevia laitosyksiköitä, niihin ei ole tarvittu periaatepäätöstä (käyttöluvan uusinta on riittänyt).
- Teollisuuslaitos haluaa rakentaa omiin tarpeisiinsa yhden pienehkön (mutta yli 50 MWt) pienreaktorin olemassa olevalle teollisuusalueelle. Tarvitaanko periaatepäätös?
- Paikallinen energiayhtiö etsii pitkäaikaisratkaisua sähkön ja lämmön tuottamiseksi. Ratkaisuksi ehdotettavan pienreaktorilaitoksen takaisinmaksuajaksi ennustetaan 25 vuotta laitoksen käyttöiän ollessa 60 vuotta, mutta laitokselle myönnettäisiin käyttölupa vain 20 vuodeksi. Laitoksen ja sen käytön kokonaisturvallisuus arvioidaan ydinenergialain mukaisesti vähintään 10 vuoden välein jatkuvan viranomaisvalvonnan lisäksi. Onko käyttöluvan määräaikaaisuudelle olemassa muita perusteluja kuin turvallisuus?

Työ- ja elinkeinoministeriö on syksyllä 2019 käynnistänyt hankkeen ydinenergialain kehittämiseksi ydinlaitosten elinkaaren luvitusvaiheiden osalta ja tässä yhteydessä tarkastellaan lakia myös pienreaktoreiden lupamenettelyn kannalta.

## Ratkaisuja kansainvälisestä yhteistyöstä

Ydinvoimateollisuuden näkökulmasta pienreaktoreiden kannattavuutta lisää, jos reaktori olisi sellaisenaan hyväksyttävissä useimmissa maissa. Valmistajat pyrkivät sarjatuotantoon sen sijaan, että reaktorit räätälöitäisiin ja valmistettaisiin projekti- tai maakohtaisesti. Haasteena on, että turvallisuusvaatimukset eri maissa poikkeavat jonkin verran toisistaan. Kansallisiin vaatimuksiin vaikuttavat maan muu lainsäädäntö, edellytetty turvallisuuden taso sekä laitospaikkakohtaiset olosuhteet, jotka vaihtelevat merkittävästi. Näistä syistä kansallisia eroja ydinenergian käyttöön kohdistuvassa lainsäädännössä tulee todennäköisesti aina olemaan.

Turvallisuusvaatimusten harmonisoinnista olisi hyötyä teollisuudelle, mutta myös lupa- ja turvallisuusviranomaisille ja sitä kautta myös luvitettavien laitosten turvallisuudelle. Yhteinen vaatimuspohja mahdollistaisi esimerkiksi yhteistyönä tehtävän turvallisuusarvioinnin samasta reaktorityypistä kiinnostuneiden maiden kesken. Yhteinen turvallisuusarvio vähentäisi kansallisten arviointien tarvetta ja laajuutta sekä edesauttaisi reaktorin hyväksymistä ilman merkittävää räätälöintiä arviointiin osallistuneissa maissa.

Vaikka turvallisuusvaatimuksissa tulee todennäköisesti aina olemaan kansallisia erityispiirteitä, on vaatimuksia monilta osin mahdollista yhtenäistää. Tärkeitä vaatimusten harmonisointia tekeviä organisaatioita ja yhteistyöelimiä ovat kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA) ja WENRA (Western European Nuclear Regulators Association). IAEA laatii jäsenmaidensa yhteistyönä turvallisuusstandardeja, jotka ovat lähtökohtaisesti tehty isoille kevytvesireaktoreille. WENRA on laatinut turvallisuustavoitteet (Safety Objectives) uusille ydinvoimalaitoksille ja turvallisuustasot (Safety Reference Levels) käynnissä oleville laitoksille. Uusia laitoksia koskevat tavoitteet on tehty ennen kuin kiinnostus pienreaktoreihin heräsi, ja tavoitteet on IAEA:n tavoin laadittu ajatellen isoja uusia kevytvesireaktoreita. Vuonna 2019 WENRAssa on aloitettu läpikäynti siitä, miten turvallisuustavoitteet ovat sovellettavissa pienreaktoreille. STUK on aktiivisesti mukana tässä työssä.

Pienreaktoreiden lupamenettelyjä pohditaan myös muilla kansainvälisillä foorumeilla. STUK on mukana myös pienreaktoreita koskevassa viranomaisfoorumissa (SMR Regulators' Forum). Foorumilla ei tähdätä vaatimusten harmonisointiin, vaan tunnistetaan pienreaktoreiden lupamenettelyihin tai turvallisuuden osoittamiseen liittyviä haasteita ja yritetään löytää yhteisiä ratkaisuja niihin.

Vaikka ylikansallisen lupamenettelyn luominen tai vaatimusten täydellinen yhdenmukaistaminen eivät ole todennäköisiä lähiaikoina, eri maiden viranomaiset tekevät yhteistyötä, jotta myös pienreaktoreiden toimiva luvitus olisi mahdollista.

## Turvallisuusvaatimukset

- Turvallisuusvaatimukset koskevat ydinvoimalaitosta, laitospaikkaa, ydinvoimalaitosta käyttävää organisaatiota sekä erilaisia toimintoja (esimerkiksi turva- ja valmiusjärjestelyjä, ydinjätehuoltoa, ydinmateriaalivalvontaa tai ympäristön säteilyvalvontaa).
- Esimerkki ydinvoimalaitosta koskevasta teknisestä vaatimuksesta: "Betonisuojarakennus on varustettava tiiviillä teräsvuorauksella".
- Esimerkki laitospaikkaa koskevasta vaatimuksesta: "Ydinvoimalaitoksen läheisyydessä ei harjoiteta toimintaa, joka saattaisi ulkoisesti aiheuttaa vaaratilanteen laitoksessa".
- Esimerkki laitospaikasta ydinvoimalaitoksen suunnitteluun kohdistuvasta vaatimuksesta: "Ydinlaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon laitospaikalla mahdollisiksi arvioidut luonnonilmiöt".
- Ydinvoimalaitosta käyttävään organisaatioon liittyy esimerkiksi vaatimus: "Turvallisuuden kannalta merkittävät tehtävät on nimettävä. Näissä tehtävissä toimivien henkilöiden osaamisesta on varmistuttava."
- Turvallisuusvaatimukset löytyvät STUKin määräyksistä ja ydinturvallisuusohjeista (YVL)<sup>6</sup>.

---

6 Ydinturvallisuussäädännöstö löytyy osoitteesta [www.stuklex.fi](http://www.stuklex.fi)

### 3. Pienreaktoriteknologiat

*Uusien reaktortyyppien turvallisuus on osoitettava luotettavasti. Pienreaktoreita on erilaisia, ja osa niistä on toimintaperiaatteeltaan erilaisia kuin käytössä olevat kevytvesireaktorit, joille nykyiset turvallisuuteen liittyvät vaatimukset on kehitetty. Laitoksia ympäröivän suojavyöhykkeen koko on harkittava tarpeen mukaan.*

Erilaisia pienreaktoreita on kehitteillä useita kymmeniä eri puolella maailmaa. Kaikille ydinreaktoreille koosta tai tyypistä riippumatta yhteistä on tarve hallita neutronien fissioketjureaktiota ja se, että vaikka ketjureaktio pysäytettäisiin, reaktori tuottaa edelleen lämpöä. Fissioissa syntyneiden radioaktiivisten aineiden leviämistä on rajoitettava ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojelemiseksi. Erilaiset reaktoriteknologiat vaativat ja mahdollistavat erilaisia ratkaisuja näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Teknologioiden erityispiirteet mahdollistavat myös erilaisia käyttötarkoituksia.

Perinteisesti ydinreaktoreilla varustettuja voimalaitoksia on käytetty pääasiassa sähköntuotantoon. Reaktoreita on ollut myös laivoissa ja sukellusveneissä sekä tutkimuksen ja lääketieteellisuuden käytössä. Pienreaktorit on kuitenkin nähty mahdollisuudeksi hyödyntää ydinenergiaa joustavammin myös lämmöntuotantoon esimerkiksi kaukolämmön tai teollisuuden tarvitseman prosessihöyryn tuotannossa. Osa reaktoriteknologioista soveltuu korkeampien lämpötilojen tuottamiseen nykyistä paremmin, joten niitä voidaan hyödyntää myös korkeaa lämpötilaa vaativassa vedyntuotannossa.

Pienreaktorit voidaan jakaa reaktoriteknologian mukaan karkeasti viiteen tyyppiin, joista sekä maalla että merellä sijaitsevat vesijäähdytteiset reaktorit käsitellään tässä raportissa yhdessä<sup>7</sup>. Reaktoriteknologioiden turvallisuusetuja tai mahdollisia haasteita ei tässä katsauksessa ole analysoitu syvemmin, vaan tarkoitus on antaa yleiskuva teknologian peruseroista ja valmiusasteesta.

7 Reaktorikonsepteja on esitelty IAEAn julkaisussa *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*, 2018: [https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book\\_2018.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf)

## Pienreaktorityypit

### Vesijäähdytteiset reaktorit

Valtaosa käytössä olevista ydinvoimalaitoksista on vesijäähdytteisiä, ja siksi tästä teknologiasta on eniten tutkimus- ja käyttökokemustietoa. Vesijäähdytteisten pienreaktorien suunnittelussa on hyödynnetty kokemuksia sekä näistä että eri suunnittelutavoitteiden perusteella syntyneistä reaktoreista, kuten laivareaktoreista.

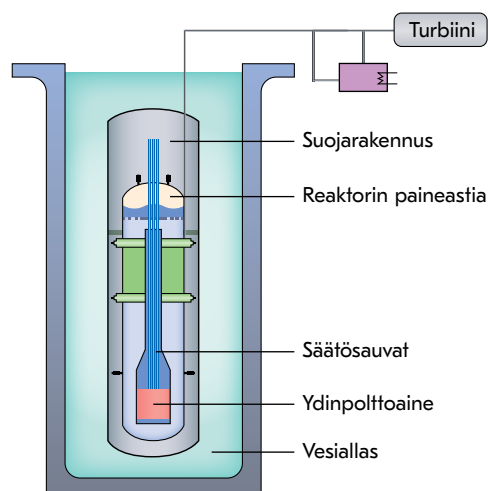
Painevesi- ja kiehutusvesi-teknologioiden lisäksi on esimerkiksi kaukolämmöntuotantoon kehitetty allasreaktori, jossa reaktorin jäähdytyspiiriä ei ole paineistettu.

Allasreaktoreita on tähän asti ollut tyypillisesti tutkimuskäytössä, kuten Espoon Otaniemessä sijaitseva FiR 1.

Osa näistä reaktorityypeistä on tarkoitettu sijoitettavaksi rannikolle tai merelle mahdollistamaan sähkön- ja lämmöntuotanto erityisesti hankalasti saavutettavissa olevissa paikoissa. Esimerkki tällaisesta laitoksesta on KLT-40S -reaktorilla varustettu venäläinen kelluva ydinvoimalaitos Akademik Lomonosov (siirretty syksyllä 2019 Venäjän Pevekiin, jossa aloitti sähköntuotannon tammikuussa 2020). ■

### ■ VESIJÄÄHDYTYINEN REAKTORI

**Suurin osa maailmalla olevista ydinreaktoreista on vesijäähdytteisiä. Tekniikan kypsyymisen vuoksi myös ensimmäisten kaupallisten pienreaktorien voidaan olettaa olevan vesijäähdytteisiä.**



## Kaasujäähdytteiset reaktorit

Kaasujäähdytteisissä reaktoreissa reaktorisydäntä jäähdyttää veden asemesta kaasu ja atomiydinten halkeamisissa, fissioissa, syntyvien neutronien hidastamiseen käytetään grafiittia. Suuria voimalaitoskäytössä olevia kaasujäähdytteisiä reaktoreita on mm. Iso-Britanniassa.

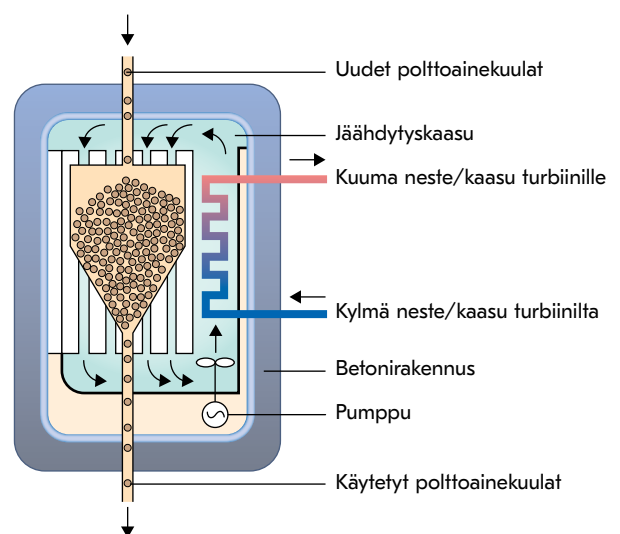
Kaasujäähdytteisissä pienreaktoreissa jäähdytteenä käytetään tyypillisesti heliumia ja hidasteena grafiittia, joskin reaktoriteknologian kehityksen myötä reaktorisydämen

ratkaisut voivat poiketa aiemmasta. Kaasujäähdytteinen reaktoriteknologia mahdollistaa erittäin korkean lämpötilan ja siksi kytkennän tehokkaampaan voimalaitosprosessiin.

Kiinassa on tällä hetkellä rakenteilla niin sanottu pieni kuulakekoreaktori HTR-PM, joka edustaa yhtä kaasujäähdytteistä reaktorityyppiä. ■

## KAASUJÄÄHDYTTENEN REAKTORI

**Kaasujäähdytteisissä reaktoreissa polttoaine koostuu mikroskooppisista kuulista, joista voidaan koostaa esimerkiksi suurempia kuulia.**





## Nopeat reaktorit

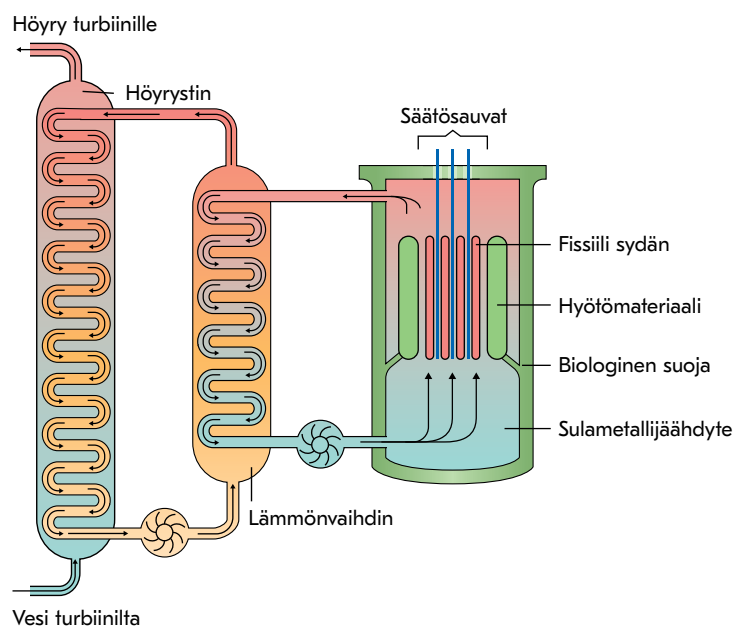
Nopeilla reaktoreilla tarkoitetaan yleisesti sellaisia reaktorityyppejä, joissa fissioissa syntyviä neutroneita ei hidasteta. Nopeissa reaktoreissa jäähdytteenä voidaan käyttää esimerkiksi sulaa natriumia tai lyijyä. Kehitteillä olevista nopeista pienreaktoreista suurin osa on lyijyjäähdytteisiä. Nopeat reaktorit voivat hyödyntää polttoaineena toriumia tai sellaisia uraaniatomeita, joita ei voi käyttää kevytvesireaktoreissa tai muissa neutroneita hidastavissa reaktorityypeissä. Tällainen reaktori

voi myös tuottaa lisäpolttoainetta eli toimia niin sanottuna hyötöreaktorina.

Ydinenergian hyötykäytön alkuvaiheessa nopeita reaktoreita kehitettiin aktiivisesti. Nopeita reaktoreita on ollut ja on edelleen käytössä tutkimusreaktoreina sekä jonkin verran myös sähköntuotannossa. Nykyisin nopeista reaktoreista on kehitteillä tai rakenteilla sekä suuria että pieniä laitoksia. ■

## NOPEA REAKTORI

**Nopeat reaktorit  
voivat tuottaa lisää  
polttoainetta – jopa  
enemmän kuin ne  
kuluttavat.**



## Sulasuolareaktorit

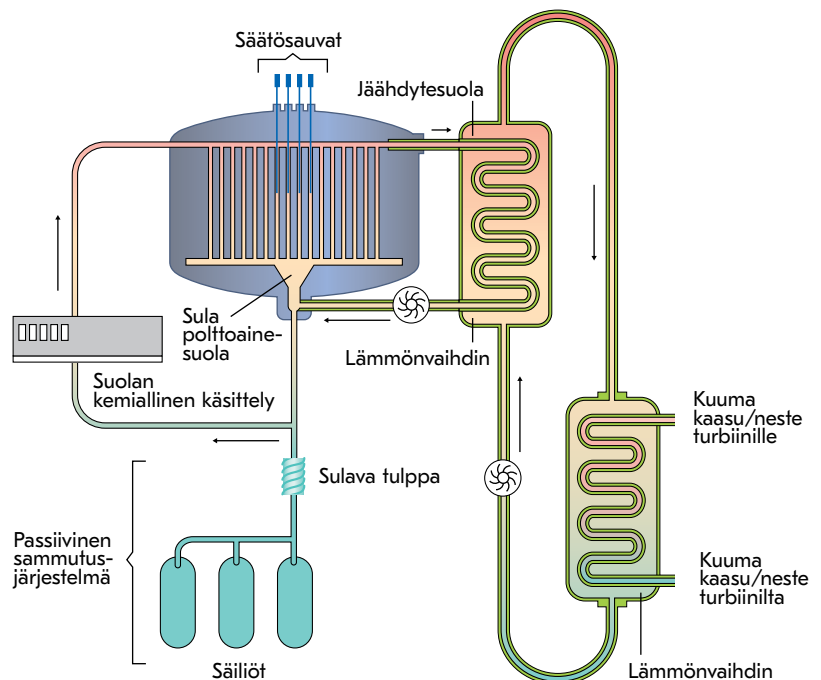
Sulasuolareaktorikonsepti kehitettiin alun perin 1940–50 -luvuilla, kun tavoitteena oli hyvin pieneen tilaan mahtuva lentokonereaktori. Hanke haudattiin mutta teknologian kehitystä siviilikäyttöön jatkettiin. Reaktorityyppi ei kuitenkaan päätenyt varsinaiseen käyttöön, joten kokemukset siitä rajoittuvat tutkimusreaktoreihin.

Sulasuolareaktorissa jäähdytteenä toimii jokin sulasuolaseos. Useimmissa suolateknologiaan perustuissa pienreaktoreissa myös polttoaine on sulana ja hidasteena käytetään grafiittia. Osa reaktoreista on myös edellä kuvattuja nopeita reaktoreita.

Sulasuolateknologian eduiksi nähdään muun muassa korkea prosessin lämpötila matalassa paineessa ja mahdollisuus ydinjätteen uudelleenkäyttöön polttoaineena tai hyötöreaktorina toimimiseen. ■

## SULASUOLAREAKTORI

**Kokemukset sulasuolareaktoreista rajoittuvat tutkimuskäyttöön. Sulasuolareaktoreissa jäähdytteen lisäksi myös polttoaine voi olla normaalistikin sulaa.**



## Uusien reaktorityyppien turvallisuus on osoitettava luotettavasti

Sekä isojen että pienten ydinvoimalaitosten turvallisuus perustuu toiminnalliseen ja rakenteelliseen syvyyspuolustukseen. Radioaktiivisten aineiden leviämistä ympäristöön rajoitetaan peräkkäisillä leviämiseillä (rakenteellinen syvyyspuolustus), joiden eheyttä turvataan moninkertaisilla, toisistaan riippumattomilla turvallisuustoiminnoilla.

Useissa pienreaktoreissa turvallisuus pyritään toteuttamaan turvallisuustoiminnoilla, joiden toiminta ei edellytä ihmisen tai automaation ohjausta tai sähköä vaativia laitteita, eli niin sanotuin passiivisin keinoin. Edelleen osa laitosten suunnittelijoista esittää, että suunnitteluratkaisujen korkean luotettavuuden ja laitosten perusfysiikan luonteen vuoksi esimerkiksi radioaktiivisten aineiden leviämistä rajoittavaa suojarakennusta ei tarvita lainkaan. Laitoksen mahdollisesti alhaisemman riskitason johdosta (mm. passiivinen turvallisuus, pienempi määrä radioaktiivisia aineita) pienreaktoreiden sijoittaminen lähelle asutusta nähdään mahdolliseksi.

Pienreaktoriin turvallisuuden parantamiseen on pyritty myös vähentämällä syitä, jotka voisivat aiheuttaa häiriöitä laitoksessa. Tällaisia parannuksia voivat olla kevytvesireaktoreissa muun muassa vuotoon johtavien paikkojen (esim. putkistot) määrän vähentäminen tai erityisesti sulasuola- tai kaasujäähdytteisissä reaktoreissa mahdollisuus polttoaineen lisäämiseen joustavammin käytön aikana. Uudenlaiset ratkaisut voivat kuitenkin johtaa myös aiemmasta poikkeaviin häiriöihin tai aiheuttaa haasteita ydinturvallisuuden eri osa-alueille kuten ydinmateriaalin valvontatoimiin.

Syvyyspuolustuksen tehokkuuden ja riittävyden perusteleminen edellyttää suunnitteluratkaisujen kokeellista testaamista, laskelmia sekä muita arvioita. Perusteluissa käytettävien menettelyiden itsensä on myös oltava päteviä, eli niidenkin on perustuttava tutkimukseen ja kokeellisiin osoituksiin. Arvioinnit vaativat tietoa kohteen fysiikasta ja teknologiasta, sillä esimerkiksi eri materiaaleihin liittyy erilaisia ominaisuuksia ja riskejä. Pienreaktoreiden turvallisuuden osoittaminen voi vaatia uudenlaisia menettelyitä ja keinoja esimerkiksi kokeellisen testaamisen, laskentamenetelmien ja mittaus- ja tarkastustekniikoiden osalta.

Ydinreaktoria käyttävän laitoksen turvallisuuteen kuuluu myös siihen liittyvien muiden prosessien ja toimenpiteiden turvalliseksi osoittaminen. Polttoaineen valmistus, käsittely ja kuljetus, prosessiaineiden käsittely, sekä polttoaine- ja prosessijätteiden käsittely on voitava tehdä turvallisesti. Laitoksen turvallisuuden takaaminen edellyttää myös, että laitos voidaan valmistaa ja rakentaa turvallisesti ja käyttökuntoa voidaan valvoa koko laitoksen elinkaaren ajan. Nämä kaikki edellyttävät siis suunnitteluratkaisuja ja infrastruktuuria, jonka valmiusaste voi riippua sovellettavista teknologisista ratkaisuista. Esimerkiksi uudentyypiset materiaaliarpeet tai polttoaine vaativat mahdollisesti uudenlaisia tuotantolaitoksia, jotka edelleen vaativat suunnittelua ja osaamista. Suunnitteluratkaisujen tekeminen ja arviointi edellyttävät taustalla vastaavasti valtavaa määrää tutkimukseen ja kokemukseen perustuvaa tietoa.

Suomessa turvallisuuteen ja sen osoittamiseen liittyvät vaatimukset on kehitetty vesijäähdytteisiä suuria reaktoreita silmällä pitäen. Turvallisuusvaatimuksia on siis tarpeen tarkastella ja mahdollisesti määritellä uudelleen huomioimaan sekä

reaktoreiden koko että käytettävä reaktoriteknologia. Mitä enemmän materiaalit ja teknologiset ratkaisut poikkeavat nykyisin laajasti käytössä olevista, sitä vähemmän niistä on perustietoa ja sitä enemmän kehitystä edellyttää myös laitokseen liittyvä muu infrastruktuuri. Siksi turvallisuuden osoittaminen nykyisiä muistuttaville reaktoreille on helpompaa – toisin sanoen vesijäähdytteisten pienreaktoreiden voidaan olettaa olevan lähempänä kaupallista tuotantoa ja käyttöä Suomessa.

## **Suojavyöhykkeellä ja varautumisalueella suojellaan ihmisiä: alueiden koko on harkittava tarpeen mukaan**

Suomessa ydinlaitosten ympärille vaaditaan nykyään noin viiden kilometrin laajuinen suojavyöhyke, johon kohdistuu maankäytön rajoituksia<sup>8</sup>. Ydinvoimalaitoksen sijoituspaikka on valittava siten, että suojavyöhykkeen sisäpuolella ei sijaitse esimerkiksi sairaaloita, kouluja tai merkittäviä teollisuuslaitoksia, joiden turvallinen evakuointi tai ylläpito onnettomuustilanteessa ei ole mahdollista.

Lisäksi ydinvoimalaitoksen, kuten minkä tahansa mahdollisesti vaaraa aiheuttavan teollisuuslaitoksen, ympäristöä varten on laadittava pelastussuunnitelma onnettomuuden seurausten lieventämiseksi. Ydinvoimalaitoksen ympäristössä tämän niin sanotun varautumisalueen edellytetään ulottuvan noin 20 km säteelle laitoksesta.

Suojavyöhykkeen ja varautumisalueen koko on määritelty nykyisin käytössä olevien, suurten ydinvoimalaitosten mahdollisten onnettomuuksien seurausten perusteella. Suojavyöhykkeen ja varautumisalueen kokoa on siis tarpeellista arvioida myös pienreaktoriin mahdollisten onnettomuuksien seurausten suhteen. Suojavyöhykkeet ja varautumisalueet ovat keskeinen kysymys erityisesti pienreaktoreiden hyödyntämiselle kaukolämmön tuotannossa, jossa lämpölaitosten on sijaittava verrattain lähellä käyttökohdetta.

Pienreaktoriin yhteydessä nostetaan usein esille, että niitä voitaisiin sijoittaa asutuksen lähelle, koska niiden turvallisuus on varmistettu esimerkiksi passiivisin keinoin. Pienreaktoreissa turvallisuudelle tärkeitä toimintoja onkin helpompi toteuttaa ilman ulkoista sähköä tai ihmisen välitöntä toimintaa vaativia toimenpiteitä. Yksittäisessä pienreaktorissa radioaktiivista materiaalia on luonnollisesti myös vähemmän kuin suuressa reaktorissa. Toisaalta myös pienreaktoreita voi yhdellä laitospaikalla olla useita, eikä usean reaktorin yhtäaikaisen onnettomuuden vaikutus välttämättä poikkeaisi yhden suuren reaktorin onnettomuuden vaikutuksista.

Pienreaktoriin turvallisuutta onkin arvioitava kokonaisuutena, eli varmistettava että laitosten turvallisuuspiirteet ja sijainti yhdessä muodostavat ihmisten ja ympäristön sekä omaisuuden kannalta turvallisen kokonaisuuden.

8 Suojavyöhyke on määritelty määräyksessä STUK Y/2/2018.

## 4. Erityiskysymykset

*Pienreaktorien suunnittelussa, rakentamisessa, käyttöönotossa, käytössä ja käytöstäpoistossa on noudatettava ydinenergian käyttöön liittyviä ydinjätehuollon, ydinmateriaalivalvonnan, valmius- ja turvajärjestelyjen sekä ydinvastuun vaatimuksia ja velvoitteita.*

Nykyisin käytössä olevien ydinvoimalaitosten turvallisuusvaatimukset ja toimintatavat sopivat monilta osin myös vesijäähdytteisiin pienreaktoreihin, joissa käytetään samantyyppistä polttoainetta kuin suomalaisissa ydinvoimalaitoksissa. Eroja on. Ydinjätehuollon, ydinmateriaalivalvonnan ja turvajärjestelyjen toteutettavuutta on seuraavassa tarkasteltu vesijäähdytteisten pienreaktorien näkökulmasta.

### Ydinjätehuolto

Pienreaktoreita käytettäessä muodostuu käytettyä ydinpolttoainetta sekä matala- ja keskiaktiivista ydinjätettä vastaavalla tavalla kuin nykyisiltä ydinvoimalaitoksilta. Pienreaktorien käytöstäpoiston eli purkamisen seurauksena syntyy myös ydinjätettä. Kevytvesijäähdytteisissä pienreaktoreissa syntyvät jätteet voidaan käsitellä ja loppusijoittaa vastaavilla teknisillä ratkaisilla kuin Suomessa on jo käytössä ja suunnitteilla. Ydinjätehuollossa voidaan noudattaa nykyisiä turvallisuusvaatimuksia.

Suomen ydinjätehuollon perusajatuksena on kunkin luvanhaltijan vastuu tuottamiensa ydinjätteiden käsittelystä. Tämän ydinenergialaissa olevan periaatteen taustalla on ajatus siitä, että suurien ydinvoimalaitosten luvanhaltijoilta voidaan edellyttää kykyä huolehtia ydinjätteistä. Nykyisten ydinvoimalaitosten matala- ja keskiaktiivisten<sup>9</sup> jätteiden käsittelyyn ja loppusijoitukseen tarvittavat tilat sijaitsevat kullakin laitospaikalla. Käytetyn polttoaineen loppusijoitusta varten on rakenteilla erillinen loppusijoituslaitos.

<sup>9</sup> Matala- ja keskiaktiivista ydinjätettä syntyy esimerkiksi ydinvoimalaitoksen puhdistus- ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä (ns. huoltojäte), sekä aikanaan ydinvoimalaitosten purkamisesta.

Pienreaktorien ydinjätehuollon järjestämiseen olisi etsittävä uusia toimintamalleja, jos laitoksia sijoitetaan erilleen tai luvanhaltijoina toimivat nykyisiä ydinvoimayhtiöitä pienemmät luvanhaltijat tai esimerkiksi kunnalliset toimijat. Jokaisella laitospaikalla tai pienemmällä toimijalla ei voida realistisesti edellyttää olevan omia ydinjätehuollon järjestelyitä ja laitoksia. Käytännöllisempää olisi toteuttaa jätehuolto keskitetyillä ratkaisuilla. Vaihtoehtoina voisivat esimerkiksi olla ydinjätehuollon järjestäminen yhteistyössä nykyisten ydinvoimayhtiöiden ja Posivan kanssa, pienreaktorien luvanhaltijoiden yhteistyönä järjestämä jätehuolto tai kansallinen ydinjäteyhtiö, joka huolehtisi ydinjätteen käsittelystä ja loppusijoituksesta. Pienreaktorien luvanhaltijoilla olisi joka tapauksessa ydinenergiain mukainen vastuu ydinjätehuollon kustannuksista huolehtimisesta.

Joissakin pienreaktorikonsepteissa reaktorimoduuli toimitetaan laitospaikalle valmiina sisältäen myös polttoaineen, jolloin laitospaikalla ei tehdä polttoaineen käsittelyä tai varastointia. Tällaisten laitosten osalta Suomeen tarvittaisiin erillinen moduulien käsittelylaitos tai vaihtoehtoisesti moduulit pitäisi kuljettaa ulkomaille olevaan käsittelylaitokseen. Ydinenergiain laki kieltää ydinjätteen kuljettamisen ja loppusijoituksen Suomen ulkopuolelle.

Kuljetukset ja käytetyn polttoaineen käsittely Suomessa voidaan toteuttaa nykyisen turvallisuussäännösten ja teknisten ratkaisujen mukaisesti.

## **Ydinmateriaalivalvonta ja turvajärjestelyt**

Ydinmateriaalivalvonnan tavoitteena on huolehtia, että ydinmateriaalit pysyvät rauhanomaisessa ja ilmoitetussa käyttötarkoituksessa ja ettei esimerkiksi ydinpolttoainetta käytetä ydinaseiden valmistamiseen tai ydinenergian käytöllä muutoinkaan edistetä ydinaseiden leviämistä tai kehittämistä. Turvajärjestelyjen tavoitteena on torjua lainvastainen ja muu ydin- tai säteilyturvallisuutta vaarantava tahallinen toiminta sekä estää toimet ydinlaitoksen vahingoittamiseksi. Turvajärjestelyt varmistavat osaltaan myös ydinmateriaalivalvonnan tavoitteiden toteutumisen.

Vesijäähdytteisten pienreaktorien ydinmateriaalivalvonnassa voidaan käyttää samoja periaatteita ja teknisiä ratkaisuja kuin (Suomen) ydinvoimalaitoksilla. Pienreaktoreissa käytettäisiin esimerkiksi kameravalvontaa ja sinettejä varmistamaan, ettei polttoainetta viedä ilmoittamatta laitokselta. Suomessa luvanhaltijalta edellytettäisiin Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä vastuuhenkilöitä ja ohjeistettuja menettelyjä, joilla ydinmateriaalivalvonnan vastuista huolehditaan. Vastaavat velvoitteet ovat Suomessa käytössä myös pienemmille ydinmateriaalien haltijoille, joita ovat esimerkiksi tutkimuslaitokset.

Pienreaktoreihin kohdistuisi kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) valvontaa ja tämän osana muun muassa varautuminen yllätystarkastuksiin. Polttoaineen valmiiksi sisältävät reaktorimoduulit muuttaisivat jonkin verran nykykäytäntöjä, koska polttoainetta ei voisi käytön aikana verifioida laitoksella, mutta tällaiseen toimintaan on olemassa kansainväliset käytännöt.

Turvajärjestelyt mitoitetaan, suunnitellaan ja toteutetaan laitoksen tyypistä ja riskistä aiheutuvan suunnitteluperusteuhan mukaisesti. Vaadittaviin turvajärjestelyihin ja turvaorganisaatioon vaikuttavat esimerkiksi millaisia järjestelmiä laitoksen turvallisuuden ylläpitoon tarvitaan, pystytäänkö järjestelmiä vaurioittamaan, mikä on laitoksen sijaintipaikka ja millaista uhkaa laitoksen vaurioittaminen aiheuttaa ympäristön asukkaille. Monet turvajärjestelyjen mitoitukseen liittyvistä asioista ovat yhteisiä pienreaktorien turvallisuuteen ja turvallisuusjärjestelmiin liittyvien kysymysten kanssa. Pienreaktoreiden erityispiirteitä voisivat olla sijoittaminen useisiin eri paikkoihin ja tästä syystä lisääntyvä polttoaineen kuljetustarve, jossa on myös huomioitava turvajärjestelyt.

Monet pienreaktorit on suunniteltu siten, että ne tarvitsevat vain vähän käyttöhenkilökuntaa. Myös täysin miehittämättömiä pienreaktoreita on suunnitteilla. Miehittämättömiä reaktoreita ohjattaisiin ja valvottaisiin kauempana sijaitsevasta keskusvalvomosta, joka voisi olla yhteinen useille reaktoreille. Kaukokäyttö toisi pohdittavaksi uusia kysymyksiä erityisesti laitospaikan turvajärjestelyissä (havaitseminen, viivyttäminen ja vaste) sekä etäkäytön tietoturvallisuudessa kuten myös ydinmateriaalivalvonnan järjestämisessä ja toteutuksessa. Turvajärjestelyjen lisäksi etäkäytössä olisi mietittävä uudelleen käyttöhenkilökunnan suorittaman kunnonvalvonnan korvaaminen. Kunnonvalvontaan saatetaan kehittää uusia menetelmiä, kuten robotiikkaa ja virtuaalitodellisuuden hyödyntämistä. Näiden käytöstä ydinvoimaloissa on vain vähän, jos ollenkaan kokemuksia.

## **Ydinvastuu**

Ydinlaitoksia ja ydinaineiden kuljetuksia koskee ydinvastuulaki, joka on säädetty ydinvahingoista aiheutuvien haittakorvausten kattamiseen. Ydinvastuu koskee pienreaktoreita ja niihin liittyviä polttoaineen ja ydinjätteen kuljetuksia vastaavasti kuin nykyisillä ydinvoimalaitoksilla. Ydinvastuulaki määrittelee Suomessa sijaitsevalla ydinlaitoksella syntyneen ydinvahingon korvausmäärän rajoittamattomaksi. Ydinlaitoksen haltijalla on oltava ydinvastuun varalle vakuutus, joka kattaa mahdollisesta onnettomuudesta aiheutuvat korvaukset vakuutuksessa määriteltyn korvausrajaan asti.



## 5. Kuka voi käyttää ydinenergiaa?

---

*Luvanhaltija vastaa turvallisuudesta. Turvallisuudesta huolehtimiseen on oltava henkilökuntaa ja osaamista. Organisoitumismuotoja on erilaisia.*

---

Suomessa ydinenergian käyttäjä eli luvanhaltija vastaa turvallisuudesta. Vastuuta turvallisuudesta ei voi siirtää pois luvanhaltijalta. Edellisissä kappaleissa on kuvattu hyvin yleisellä tasolla ydinturvallisuuteen liittyviä velvoitteita, joiden täyttämiseen pienreaktorin käyttäjän on varauduttava.

Huolehtiakseen vastuistaan luvanhaltijalla on oltava käytettävissä riittävästi päteviä henkilöitä. Luvanhaltijalla on muun muassa oltava osaamista rakentaa/rakennuttaa ydinlaitos turvallisesti, käyttää laitosta turvallisesti ja jatkuvasti parantaa turvallisuutta tekniikan kehityksen myötä<sup>10</sup>. Lisäksi luvanhaltijalla on oltava riittävät taloudelliset resurssit ydinenergian turvalliseen käyttöön kaikissa tilanteissa.

Luvanhaltijan on asetettava turvallisuus ensisijaiseksi päätöksenteossaan. Esimerkiksi laitokseen liittyvissä muutoksissa tai investointipäätöksissä tulee huomioida investoinnin tai muutoksen vaikutus turvallisuuteen, samoin myös organisaatiomuutoksista päätettäessä. Mikäli muutoksella tai päätöksellä on laitoksen kokonaisturvallisuutta heikentävä vaikutus, ei sitä tule tehdä.

Yleensä luvanhaltija on yritys, esimerkiksi osakeyhtiö, joka on perustettu ydinenergian käyttämistä varten. Luvanhaltija voi kuitenkin olla muukin oikeustoimikelpoinen henkilö. Yleensä luvanhaltija myös omistaa ydinlaitoksen, mutta myös muunlaiset järjestelyt ovat mahdollisia.

Pienreaktorin luvanhaltijalla on samat vastuut kuin isonkin ydinvoimalaitoksen luvanhaltijalla: vastuu turvallisuudesta ja ydinjätteistä sekä onnettomuuksiin varautumisesta. Näiden vastuiden hoitamiseksi on oltava riittävästi pätevää henkilökuntaa sekä taloudelliset resurssit.

Pienreaktoreiden myötä ydinenergiaa käyttävien organisaatioiden toiminta- ja organisaatiomallit voisivat poiketa nykyisestä merkittävästi. Eri organisoitumismuotojen vaikutukset turvallisuudelle on arvioitava lupaprosessin aikana.

---

10 Jatkuva turvallisuuden parantaminen on ydinturvallisuuden keskeinen periaate.

## 6. Johtopäätökset

Vuosikymmenen kuluessa markkinoille tulee mahdollisesti uudentyyppisiä ydinvoimalaitoksia, mukaan lukien niin kutsuttuja pienreaktoreita. Turvallisuusviranomaisen lähtökohta uudentyyppisten reaktorien tarkasteluun on selkeä: myös pienreaktorit ovat ydinvoimalaitoksia ja niiden on oltava turvallisia. Vastuu turvallisuudesta on luvanhaltijalla.

Tässä raportissa on esitetty suuntaviivoja keskustelulle, jota viranomaisten, päättäjien, tiedeyhteisön ja energiayhtiöiden olisi syytä käydä, jotta pienreaktorimallien luvittamiselle, valvonnalle ja turvallisuuden arvioinnille voidaan luoda kestävät edellytykset. Teknologian kehityksen myötä riskinä on, että sääntely-ympäristömme ei tulevaisuudessa enää vastaa yhteiskunnan odotuksiin.



**KUVA 3:** Pienreaktorien käyttöön, turvallisuuteen ja luvitukseen liittyy avoimia kysymyksiä, joiden ratkaiseminen vaatii toimintaympäristön huolellista tarkastelua.

## Tilanteeseen vastaamiseksi STUK esittää seuraavia johtopäätöksiä ja toimenpiteitä:

### 1 Säännösten muutostarpeet pienreaktorien kannalta on selvitettävä.

Nykyinen lupamenettely ja turvallisuusvaatimukset on luotu pääasiassa suurille sähköä tuottaville vesijäähdytteisille reaktoreille, joita käyttävät isot ydinvoimayhtiöt. Pienreaktorien käyttöön, turvallisuuteen ja luvitukseen sekä viranomaisvalvontaan liittyvät kysymykset voivat poiketa merkittävästi perinteisestä ydinvoiman rakentamishankkeesta, jonka tarpeisiin nykyinen lainsäädäntö on tehty. Pienreaktorien luvituksen kehitykselle on nyt hyvä hetki, koska työ- ja elinkeinoministeriö valmistelee ydinenergiain kokonaisuudistusta.

### 2 Kansainväliseen yhteistyöhön osallistuminen on tärkeää.

Pienreaktorivalmistajien keskeinen tavoite on valmistaa laitoksia sarjatuotantona kansainvälisille markkinoille. Haasteena on, että turvallisuusvaatimukset eri maissa poikkeavat jonkin verran toisistaan. Vaikka ylikansallisen lupamenettelyn luominen tai vaatimusten täydellinen yhdenmukaistaminen eivät ole todennäköisiä lähiaikoina, eri maiden viranomaiset tekevät yhteistyötä pienreaktoreiden turvallisuusvaatimusten harmonisoimiseksi ja tarkoituksenmukaisen luvittamisen mahdollistamiseksi sekä toimivien käytäntöjen löytämiseksi. STUK on aktiivisesti mukana tässä työssä.

### 3 Tutkimukseen ja kokemukseen perustuva tieto luo pohjan pienreaktorien turvallisuudelle.

Lainsäädäntö asettaa reunaehdot pienreaktoreiden turvallisuudelle. Pienreaktoreiden turvallisuus on osoitettava käytännössä. Pienreaktoreita on erilaisia, ja osa niistä poikkeaa toimintaperiaatteiltaan maailmalla käytössä olevista ydinvoimalaitoksista. Useissa pienreaktorilaitoksissa turvallisuus pyritään varmistamaan ratkaisulla, jotka poikkeavat nykyisistä. Suunnitteluratkaisujen tekeminen ja arviointi edellyttävät valtavaa määrää tutkimukseen ja kokemukseen perustuvaa tietoa ja osaamista sekä kokeellista testaamista, laskelmia ja muita arvioita. Osaamisen sekä tarvittavan tutkimusinfrastruktuurin luominen pienreaktoreiden turvallisuuden osoittamiseen kokeellisesti ja laskennallisesti vaativat satsauksia kansallisesti ja kansainvälisesti.

### 4 Pienreaktorilaitosten turvallisuutta on arvioitava kokonaisuutena, eli on varmistettava että laitosten turvallisuuspiirteet ja sijainti yhdessä muodostavat ihmisten, ympäristön ja omaisuuden kannalta turvallisen kokonaisuuden.

Pienreaktoreiden yhteydessä nostetaan usein esille, että niitä voitaisiin sijoittaa asutuksen lähelle. Kaukolämmön tuotannossa lämpöä tuottavan laitoksen onkin sijaittava verrattain lähellä asutusta. Suojavyöhykkeen ja varautumisalueen koko on harkittava tarpeen mukaan, laitoksen ympäristölleen aiheuttaman riskin perusteella.

- 5 Ydinjätehuollosta on huolehdittava.** Suomi on maailman ensimmäinen maa, jossa ollaan rakentamassa ydinjätteen loppusijoituslaitosta. Samat ydinjätteen loppusijoitusratkaisut toimivat myös vesijähdytteisille pienreaktoreille. Pienreaktoreiden myötä ydinjätehuollon järjestämiseen olisi todennäköisesti etsittävä myös uusia organisointimalleja, ja ydinjätehuoltoon liittyviä vastuita olisi määriteltävä uudelleen.
- 6 Uusiin toiminnanharjoittamismuotoihin on varauduttava.** Pienreaktoreita käyttävien organisaatioiden toiminta- ja organisaatiomallit voivat poiketa nykyisestä merkittävästi. Eri organisoitumismuotojen vaikutukset turvallisuudelle on arvioitava.





ISBN 978-952-309-451-2 (pdf)

---

**STUK**

**Säteilyturvakeskus**

**Strålsäkerhetscentralen**

**Radiation and Nuclear Safety Authority**

Laippatie 4, 00880 Helsinki

Puh. (09) 759 881

fax (09) 759 88 500

[www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)